

## 安全の為の計器設計に対する一考察

大阪瓦斯株式会社 工学博士 前 澤 正 禮

### 序 言

人間の作っている社会、ないしはその社会の中の一部を一つのシステムと考え、このシステムの中に何等かの原因で不調を生じ、それによって、そのシステムの正常な営みに支障をきたした時、この現象を事故であると考え、このシステムを正常に維持することが『安全』であると考えられている。ここで事故と安全という言葉それぞれ病氣と健康という言葉に置き換えれば安全と言うことの必要性和重要性が理解され易くなる。この考え方を生産活動を主とする工業に導入すると、原料から製品に至る工程では何等かの形でエネルギーの受授が行われていて、その生産工程と言うシステムが順調に動いている間は問題はないが、ここに何等かの原因によってこのシステムの正常性が乱れると、エネルギーは人間の制御を逸脱して暴走し、事故が発生し、災害（脚註）が発生する。この種の災害は、地震、高潮、異常気象等のようなその発生又は襲来を人力では抑制又は防止出来ない天災とは明かに区別されるべきもので、生産工程に於ける事故の発生は人身災害に繋がる場合も多く、人道主義の立場から事故の絶滅が叫ばれているが、人身災害に繋がらなくとも事故の発生は生産活動の阻害に繋がることになる。この両方の意味からしても災害の防止、すなわち安全ということは先づ事故の撲滅を目標として出発しなければならない。換言すれば優れた生産技術というものは生産工程が順調に動くことであり、この為にはあらゆる面での事故の発生を未然に抑制する為の努力が払われなければなら

（脚註）…災害とは事故とそれに付随して発生する損失の2つの概念の和である。

ない。この為には科学的根拠に立脚した技術的努力を産業施設およびその設備の企画、設計の段階から傾注し、生産工程の健全化と能率化を計り、生産活動を順調に軌道にのせ、従業員のみならず、地域社会の発展と、住民の健全なる社会生活の維持とを目標としてあらゆる努力を傾けねばならない。

然し乍ら、現実には産業災害による死亡者の数は年間6,000人の多きに及び、43年度には経済損失推定額は3,630億円に達している。この産業災害の事故原因の1つにオートメ化された計器の選択、設定の段階で安全に対する配慮を始め、制御装置の設計、配置に対する安易な考え方が設計段階に介在していることも事実である。そしてこの為に作業員の計器読み取りミスや制御装置の錯誤運転と迄いかなくとも、計器の読み取りに対する時間的な遅れや、制御の遅れに伴った事故が往々と発生している。このことは設計段階に於て、安全工学的検討を加味すれば充分防止出来ると考えられるので、本誌の編集当局の御意向に完全に応ずることは浅学菲才の身にとって、過重な負担ではあったが、産業活動の安全を切望する気持の上から、茲に装置の設計と運転に必要な情報源としての計器および制御装置に関連した事項を安全工学の立場から記して御参考に供し、諸賢の御批判を仰ぐ次第である。

### 〔I〕設計段階に於ての安全に必要な情報

人間が操作する各種の装置の設計に当って、先づ第一に、その装置を運転する人に与えられた業務を完全な形で、安全に遂行されるには如

（脚註）安全工学とは主として産業に伴う災害の発生原因とその経過の究明及びその防止に必要な科学及び技術に関する系統的な知識体系である。

何なる情報が必要であるのか、そしてその情報がどのような形で転運する人に伝えられるかを考えるべきである。人間が機械を運転する場合には図1に示した形式で情報の取得とそれに伴う命令の伝達が行われるのが普通である。そして

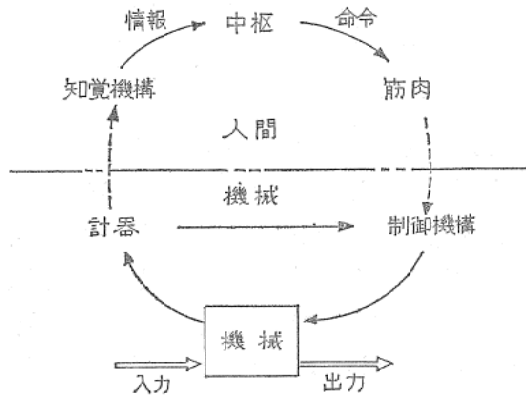


図1 人間と機械の系の模式図

てこの場合には、基本的に次の各項を考慮すべきである。

① 情報は妥当であるか……例えば機械が故障した時にそれが確実に信号となって運転若しくは監視している人に知らされるようになっていくか。

② 情報が多すぎないか……運転に必要以外の情報を作業員に与える計器は意味がないばかりでなく、運転又は監視をする作業員の疲労を増す原因になる。例えば往々見受けられるものに『ON (YES)』又は『OFF (NO)』の決定が作業員によってなされれば十分である場合に目盛のついた計器がついていることがあるが、これは不必要であり、監視する人に徒に眼の疲労を与え、時には決定を下す為の時間が長びくことになる。更に年に1~2回程度の定期整備に備えての点検時、又は設定変更が必要になった時等に必要であるからという理由で目盛のついた計器が装着されている場合があるが、このような定期整備又は設定変更等に対して必要な計器類はその必要性が生じた時に臨時に取り付けられるような端子を整えておくか、或は別な工夫を加えるべきで、必要以外の精度を有する計器や、監視の必要がない計器を監視人の眼のとどく所に備えるべきではない。

③ 情報が時宜に適しているか……作業員に

特定な情報が与えられた時に、時宜に適した動作又は操作が行える様な表示法を採用すべきである。例えば貯水槽の液面計が限度近く迄下がったことが表示されてから給水弁が開かれる迄の時間的余裕がないと折角の液面計からの信号は意味がなくなることになる。この他圧縮機の潤滑油がなくなった時にはシリンダーの外壁の温度上昇を待ってから停止の指令を出したので遅すぎる。

④ 情報は曖昧であってはならない……例えば2つの警戒信号が殆んど同時に故障の信号を発した時に之等が明確に殆んど直観的に識別出来るようになっていなければならない。更に計測計器側に故障が生じた場合の信号と装置側に異常事態が発生した時の区別出来るような配慮も必要である。

⑤ 適当な知覚機構を使用しているか……警告信号は聴覚信号でないで看過される確率が高い。緊急でない重要情報は視覚によって伝えられることが有効である。緊急の場合に操作する制御装置の把手(ノブ)の形を工夫すれば、触覚によって容易識別できて、その上明確であるので操作は迅速に行うことが出来る。この様に情報の受授に際して知覚機構の選定も大切なことである。

⑥ 計器や制御装置のレイアウトは適切か……計器の配置が適当でない場合には異常事態の発見が遅れて大きな災害を招く様になるので、計器類や制御装置の配置には周到な配慮が必要である。例えば異常事態の発生が直観的に監視員に知らされて、これに応じたアクションが間髪を入れずに採れる様になっていなければならない。この場合直観的に異常が知らされるのみならず、これにマッチした操作が瞬時に行われることが肝要なことであって、異常状態と正常の作動状態とが明確に極めて短時間に区別出来ると共に、出来得る限りの短時間に制御機構を作動出来るようにして置かねばならない。

⑦ 負担が適当に配分されているか……近代工業では計器を駆使した運転が盛んであり、この場合計器の監視業務は相当な疲労を伴うものである。多数の計器を監視する作業員の眼

に過大な負担がかからぬような配慮が必要であり、眼の疲労が原因で重大事故を惹きおこした例は極めて多い。実際に巨大なグラフィックパネルを設置して、設備の威容を誇っている例があるが、この場合には作業員の負担を十二分に考慮してあるか疑わしい場合もなきにしもあらずである。

⑧ 情報に対応性があること……グラフィックパネルは実装置と計器との対応性が極めて優れたものである。そして制御装置での調節の仕方と計器表示との関係は無関係であってはならないし、最も好ましい形式はこの両者が極く自然に対応して作動するようになっていることである。例えば図2に於て上段は計器を示し、下段に制御用ノブを模式的に画いてあるが、(a)の場合が最も好ましい対応である。何故ならば指針又はノブが時計の方向に回るとつれて増加をする様になっていて、これは人間にとって最も自然であるからである。

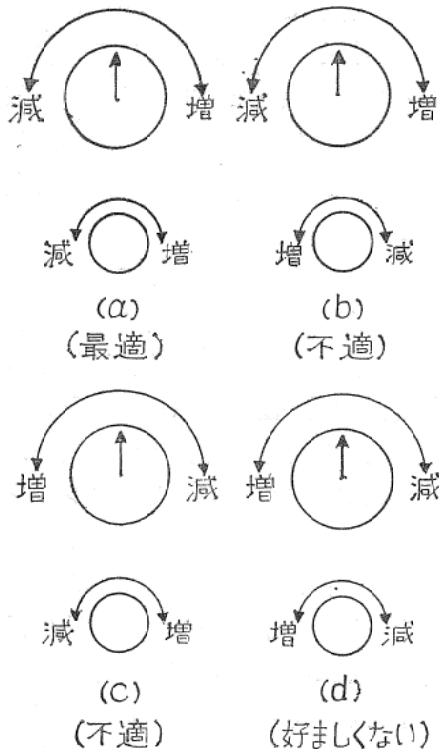


図2 表指示計と制御器の関係図

〔Ⅱ〕視覚外情報

通常の工程に於て与えられる情報は視覚外情報と視覚情報に分けた方が便利である。人間の

聴覚と視覚についての反応時間を較べたものが表1であって、この表から緊急情報は聴覚を利

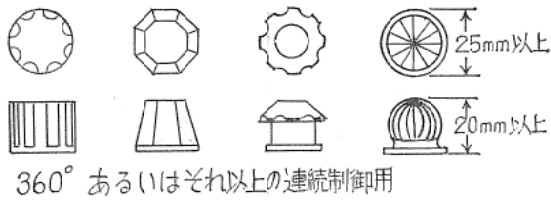
表1 刺戟と反応時間の関係

刺戟の種類	反応時間
視覚	0.174秒
電気刺戟	0.170秒
聴覚	0.153秒

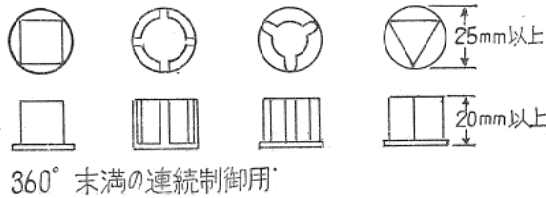
用した伝達方式を採用すべきことが判る。その上人間が疲労した時には視覚による情報は屢々錯誤を生み、信号が無視される場合も多いが、音に対しては人間は相当に疲労した時でも、十分反応を示すものである。例えば機械の故障に対する対策として、先づ第1に故障の発生の警報にはブザーやベル等を用いて、故障の発生を音で知らせ、続いて故障の発生個所を信号灯を用いて知らせるべきである。

2個以上の聴覚信号が必要である場合には、各々の信号を明確に区別出来るような工夫、例えば音の高低、強弱を変えておくことが必要である。この場合に断続した音の個数の変化によって識別を行う時には識別のミスがよく発生し、その上応答動作が直観的に短時間に行われ難いので採用すべきではない。

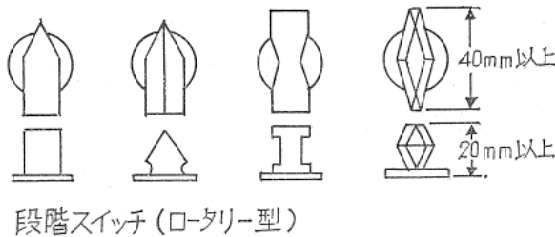
触覚による情報の伝達は作業員に与えられるよりも、むしろ機械に命令なり情報を与える制御装置に用いられるもので、この場合足踏み式のペダルを介して行うこともあるが制御用ノブのつまみを介して手で行う場合が多い。制御用ノブは夜間の停電の場合に備えて眼の助けを借りずに行える様に色々形と異ったノブを採用することが推奨されている(図3)。更に実際問題として外観上の斉一性を強調して、同一の形のつまみを1人の制御範囲内に設置することは当を得たものではない。押し又は引き用のレバー、コック等には図4に示す様な握りの部分をつけて置くと触覚だけで完全に識別が出来る。緊急の場合に操作するものについては手袋を着用した作業員が操作することも充分考えられることであるから、触覚に頼ったものが望ましい。



360°あるいはそれ以上の連続制御用



360°末満の連続制御用



段階スイッチ（ロータリー型）

図3 種々の制御用ノブの形

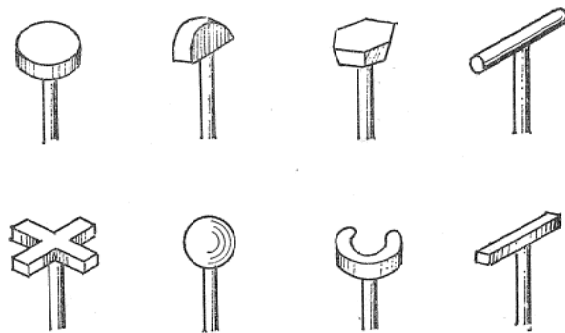


図4 色々の形のレバー類

### 〔Ⅲ〕 視覚情報

視覚を介しての情報入手は工業上最も数多く用いられているので、この情報の入手の仕方の選定には必要な表示形式、量、精度、頻度等を考慮して十分検討を加えることが必要で、作業員に読み取りミスを引き起こしたり、読み取りが直観的に出来るような配慮が強く要望される。更に人間の視力の限界や可視範囲を無視した表示は禁物である。一般的に言ってこの計器の選定の作業は設計段階で行われているが、この場合温度計を例にとると、その表示温度範囲、精度、大きさ等は設計の時に定められるが、計器上の目盛線の中、高さ、太さ、零点の位置、指

針の形式等については余り多くの配慮がなされていない。実際に計器類を監視する人の立場に立って選定と配置を行うべきで、これによって信号の誤認、錯誤に伴う事故を未然に防ぐことが出来ることを忘れてはならない。

計器の採用や設定に当たっては次の5つの項目について検討されるべきである。

① 計器はそれが要求される方式、すなわち定性的な表示が要求されているのか、定量的なものが望まれているのかは、その都度慎重に判断して定められるべきものであるが、いずれの場合もそこに要求される精度で、出来得る限り短時間に正確に読みとられるようであればならない。

② 計器の表示が直観的に正しく読みとられるような表示の文字が使われなければならない。正しく、且つ迅速に読みとられるには監視する人の位置や姿勢等についての考慮も必要である。

③ 計器からの情報、すなわち読み取り値は他の単位に換算するような計器は避けるべきである。例えば流量計の目盛が lit/min であるのに運転に必要な情報は m<sup>3</sup>/hr である場合も散見されるし、外国製の計器をそのままに採用すると度量衡単位が違っている為に監視員に換算表を与えていたり、換算方式を別に表示してある職場がある。例えば圧力単位に、psi, psig を用いた計器はその示度目盛は kg/cm<sup>2</sup> 又は kg/cm<sup>2</sup>G に変更することが作業員の疲労の軽減になり、事故の未然防止に繋ることになる。

④ 計器のある場所の明るさと照度は外界の明暗によって左右されないような配慮が必要である。殊に早朝又は夕刻に於ける太陽光線の差し込みは計器を見難くする原因となり、殊にこの時刻は作業員の疲労も蓄積されている時であることを忘れてはならない。更に照明灯の故障、照明回路の停電に備えての予備灯の配慮がなされているか、天候不良時にも指度が正確、迅速に読みとれるようになっているか等のチェックも設計段階で十分行われる筋合いのものである。

⑤ 設備の大型化に伴って、計装化は今後益

々盛んになって、計器に頼る運転が多くなるので、信頼性の高い計器が要求される。そして装置が正常に動いて計器が正常に作動している時には計器の指示が安定しているのは当然であるが、信頼性の高い計器でも計器の故障によって指示が動かない場合が考えられるので、計器の故障を監視員に遅滞なく知らせるような工夫は必要不可欠のことであると共に、計器の故障の程度によっては他の代替計器を活用して運転を続行しつつ、故障個所の修理を行うか、装置の運転停止を行うか等の計器故障に対処する方法も予め定めておかねばならない。

〔IV〕計器板の型式の選択

計器の代表的な形式として、可動指針型、固定指針型、計数型がある(図5)。可動指針型は目標値(正常値)から偏差の程度を見るのに適していて、正常値が常に中央に来るようにするならば数字は常に必要とはならない。この型のもは目標値への調節、連続過程の制御には適している。計数型は定量的な読み取りには極めて適しているが、制御装置との連動による調節機能については適しているとは言いがたい。

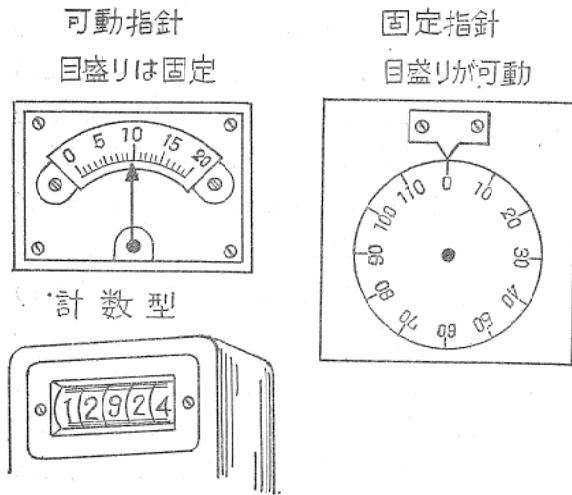


図5 計器の代表的型式

〔V〕計器板のデザインについて

計器に記入する文字や数字を美しく飾ることは無益のことであって、識別と言うことを第一に考えて単純な形にすべきである(図6)。

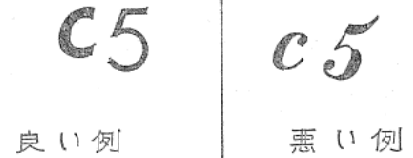


図6 計器板の文字

計器板の文字の縦横の比は約3:2が適当で、字面の太さについては白地に黒で画く場合は字の高さの1/6位にすべきであるが、黒地に白で画く場合には1/5迄は許容される。隣り合った文字又は数字の間の中心間隔は文字の高さの1/6以上が必要で適当な間隔は文字1箇分である。文字の大きさの標準は表2に示したが、本当は眼

表2 一般用ダイヤルおよび計器板の文字の大きさ

眼から文字までの距離 (m)	字の高さ (mm)
0.5 以下	2.5
0.5 ~ 0.9	4.5
0.9 ~ 1.8	9.0
1.8 ~ 3.6	18
3.8 ~ 6.0	10

各文字の間隔は字面の幅以上、各語の間隔は1文字にとる

から文字迄の距離によって変えるべきである。目盛の表示数は必要とする精度によってきまる。読み取ることの出来る1番小さい目盛は測定器の誤差より小さいのは全く意味がない。目盛のつけ方の基準は監視人の眼から目盛迄の距離を  $a$ (mm) とすると、次の通りである。

- 大目盛間の中心距離…… $a \times 1/50$   
(最小を 18 mm とす)
- 最小目盛間の中心間隔…… $a \times 1/600$
- 大目盛の線の太さ……… $a \times 1/5000$   
(最小を 0.13 mm とす)
- 中目盛の線の太さ……… $a \times 1/7000$   
(最小を 0.13 mm とす)
- 小目盛の線の太さ……… $a \times 1/7500$   
(最小を 0.13 mm とす)
- 大目盛の線の高さ……… $a \times 1/125$
- 小目盛の線の高さ……… $a \times 1/200$

表3 数のすすみ方の推奨値

良					中 間					好ましくない			
1	2	3	4	5	2	4	6	8	10	3	6	9	12
5	10	15	20	25	20	40	60	80	100	4	8	12	16
10	20	30	40	50						0	2.5	5	7.5

目盛のつけ方は対数目盛のような特殊目盛を避け、等間隔目盛をすることが望ましい。

計器板に記入する数字の進め方については左から右へ、下から上へと増加するようにするのが良策で、円盤状の目盛に対しては時計の針の進む方向に増加するようにつけるべきである。そして数字の進み方については1進法、5進法、10進法等が望ましく、3進法、4進法はなるべく用いない方がよい(表3)。

計器板の指針は盤に出来る限り近付けることは勿論であるが(図7)、指針が数字を覆うことのないようにすべきであり、指針の短いものも避けねばならない(図8)。

数字の向きについては使用するスケール又はダイヤルの型式によってきまるもので、固定指針型の計器では数字は円周方向に画くべきで、この際に指針は頂上(時計の12時)に置くことが肝要である(図9)。可動指針型では縦方向に垂

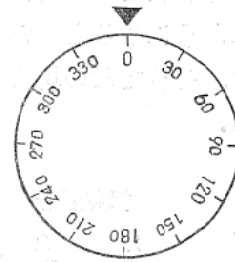


図9 固定指針器計器の文字のつけ方

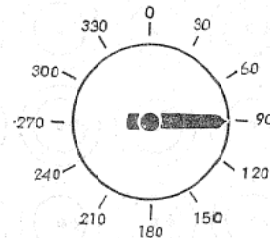


図10 可動指針型計器の文字のつけ方

直に数字を画くべきである(図10)。窓に目盛が現われる固定指針型の場合には数字は垂直に窓に現われるようにし、窓の大きさは少なくとも2つ以上の文字が出る位の大きさが必要である。同一計器が2箇並んでいる時には数の位のとり方、及び目盛の切り方は同一にすべきである(図11)。

複数の計器を水平に並べる時に計器の零点の位置を同一の方向に揃えることはよく行われている。これは設備の運転開始以前の状態、或は休止中では斉一性が保たれて、設計者又は建設者の美的感覚を満足させるものであるかも知れないが、ひとたび運転に入れば忽ちその斉一性

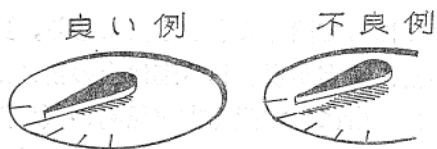


図7 指針と計器盤の関係

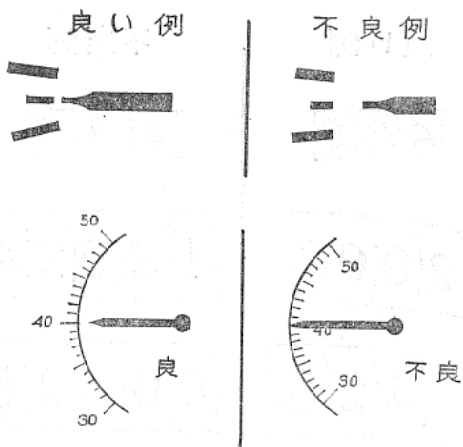


図8 指針の長さ目盛の関係

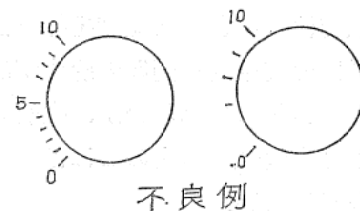


図11 2つの計器が並んでいる時の数字のつけ方

が崩れるので全く意味のないことになる。正常な運転の時にすべての指針が時計の9時の位置になるよう（計器が横に並んでいる時）に配置すべきであり、若しも複数の計器を垂直に縦方向に配置する場合には正常運転になった時に12時の方向に向くようにすべきである。このように運転が正常に行われている時に計器の指針が同一方向に向くようにすると異常な状態の発見に要する時間は、そうでない場合の1/4位に短縮される。（図12）。

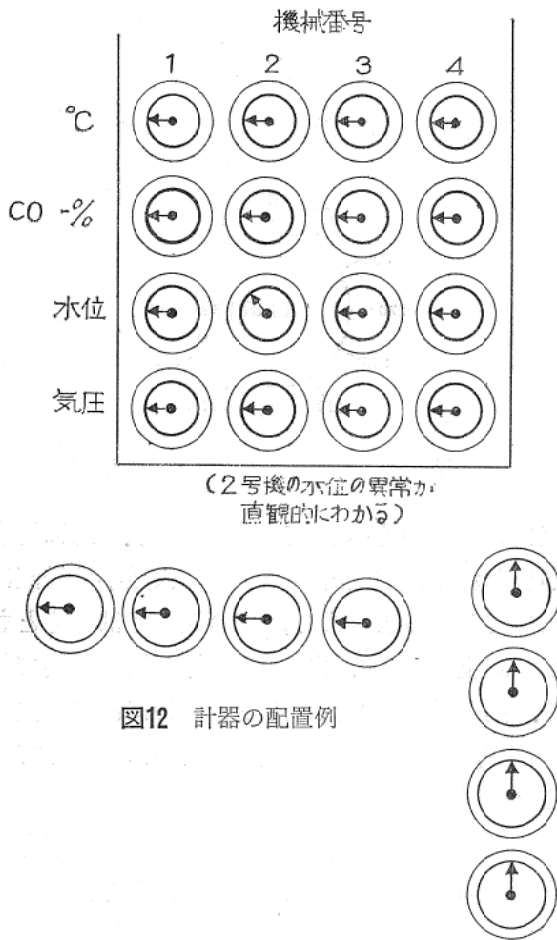


図12 計器の配置例

この様に配置される計器の並べ方は読み取る順序に従って並べるべきであって、通常の場合は上から下へと読んでいけるようにすべきである。現時点ではこのような配列を行う為には計器の製作者側の技術的な問題の解決が計られなければならないかも知れないが、生産設備の安全運転による生産性の向上の為には是非実現されることを望みたい。

最近計数型の計器がふえたが、計数器のドラ



良い例



不良例

図13 計数型計器の文字

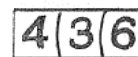


図14 計数型計器の文字の並べ方

ムが丸みをもっていることと数字の動きによって上下両端の読みが曖昧になり易いので、縦に長い数字を用いることは不適當であり（図13）。数字の並べ方は計数器のドラムが上に動く時に数が増えるように配置すべきである（図14）。計数型の計器で読み取りをするときには数字の動きは1秒間に2箇にすると読み取りに非常な負担がかかり、疲労の因になる。数字の間隔があまり大きくなると却って読み難くなり、桁数の多い数字の場合、例えば5桁以上の数字を並べる場合には、終りの方の数字は意味のない場合が多いので、このような時には常に0が表示されるようにして置くことが必要であり、更に上の方の桁に数字が現われる迄は上の桁には0を出さずに空白にして置く方が見易い（15図）。

計器板の指示灯に就ては明るさが大切であり、早急に注意を喚起しなければならない灯火

良い例



不良例

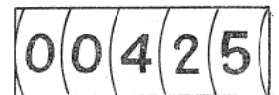
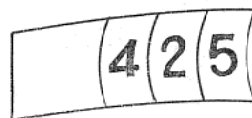
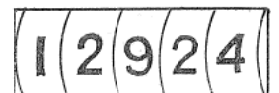
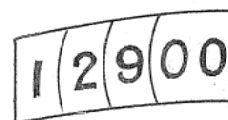
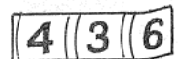


図15 計数型計器の数の表示法

は少くともバックの2倍以上の明るさが必要であるので、灯火の附近のバックは暗い艶消し仕上げの塗料を塗ると灯火が明瞭に見えるようになる。警戒灯は点滅形式を採用するのが良く、1秒間に3～10回の点滅で、点灯時間は0.05秒以上にすると極めて注意を惹き易くなる。

1つの計器の中に色々の型式の視覚表示方式を組合せたものを用いる時には、互に関連性のある表示型式を1つに組合せて、その表示様式を統一させることが必要である (16)。

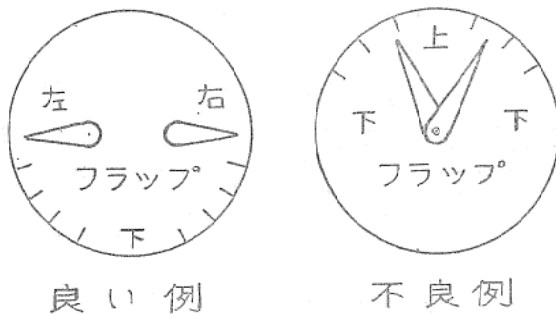


図16

計器の指針の形も又出来る限り単純なもので、その先端は尖っていることが必要であり、若し、そうでない場合には先端の巾は最小目盛線の巾よりも少し小さくする必要がある (17図)。

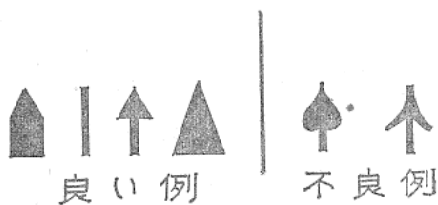


図17 指針の先端の恰好

### 〔VI〕制御器の設計と選択

制御器の設計と選択についての最も基本的な考え方としては、制御装置の動きや位置が制御対象又は表示装置 (計器類) の動きや位置と対応して、直観的に制御装置を操作出来るようにすることで、これが操作ミスをなくする為に必要不可欠な最も基本的なものである。図18は1つの計器とそれに対応する制御用操作ノブやレバーの位置を示したものである。

制御用のノブやレバーは作業員の肘から肩の高さの間に配置すべきで、作業員が立って制御

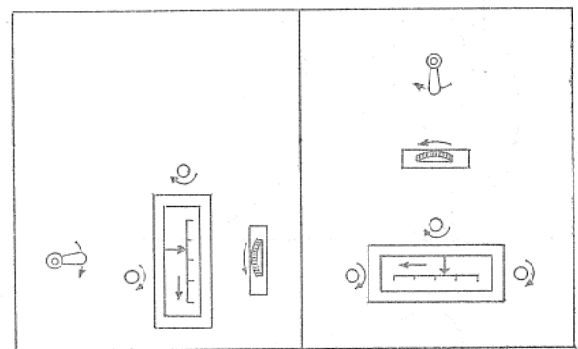
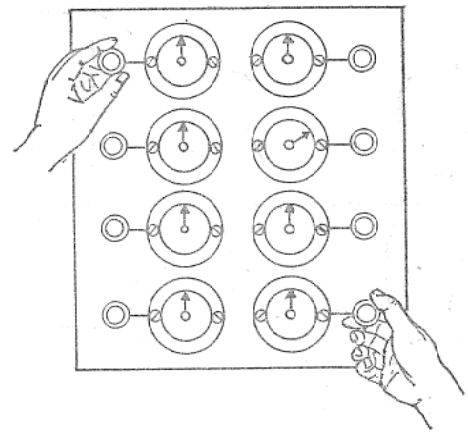


図18 計器と制御用ノブの関係

装置を動かす時は出来る限り肩の高さより僅かに下に配置し、坐って制御する時には肘の高さ付近に配置するのが作業員の疲労を少なくすることに繋るし、力も加え易い (図19)。

制御ノブ、又はレバーの大きさは人の手で握める程度が限度で、ノブの場合には最大は直径13cm位で、適当なものは3～5cm位の直径のものであり、レバーの直径は3.5～4.5cm位が適当である。電子管式の制御装置での調節用つまみは連続的に変化させる場合はすべり止めの為に縦に条を切った円型につまみが有効で図20、区分毎に動かす場合には棒状につまみのついたロータリースイッチが適当である図21。この場合には $\alpha$ の値は最小15°で最大40°にするべきである。従って1個のロータリースイッチには24個以上の接点をつけることは出来ない。スナップスイッチ (トグルスイッチ) は僅かなスペースです早く操作することが出来る。この場合にはON, OFFに対して中立の位置から30°位に傾斜するものを使うべきで、レバーの長さは1.5～5.0cmでつまみ部分の直径は3～



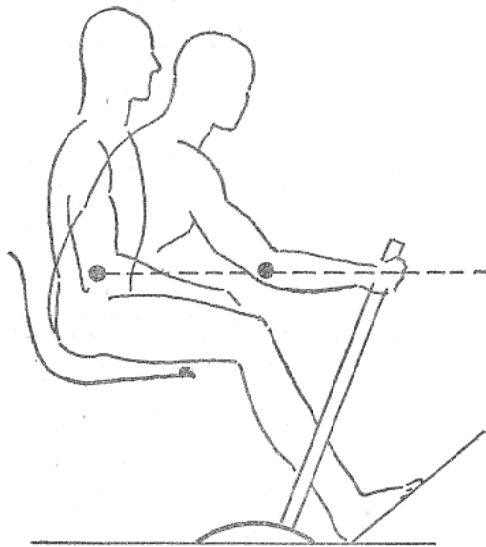
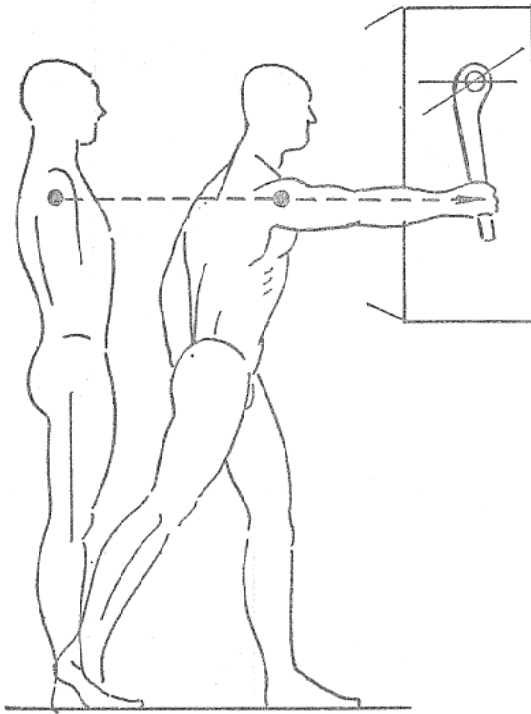


図19 制御用レバーの位置

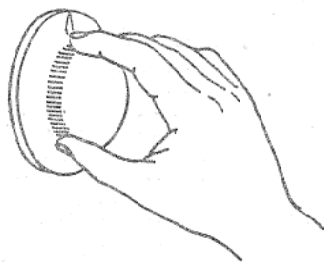


図20 制御用円型ツマミ

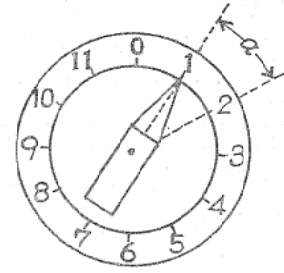


図21 ロータリースイッチ

15 mm のものが良い。そして作業員の側から前方、上方、右方が『ON』になる様に配置すべきである。押し釦は押した時にカチンと言う手応えがある様にするると作業員が自分の動作を確認できるが、若し手応えがない場合には余分に押し続けることになるので、この場合には『ON』又は『OF』になったことを知らせる表示灯が必要となる。押し釦の押し面の直径は12~30mmの範囲で少し凹みがある方が良く図23, 操作の中(押ししろ)は3~3.5mmが適当である。

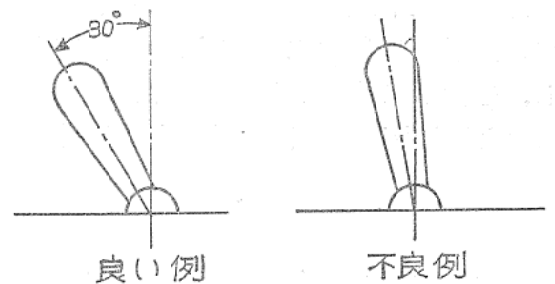


図22 スナップスイッチ

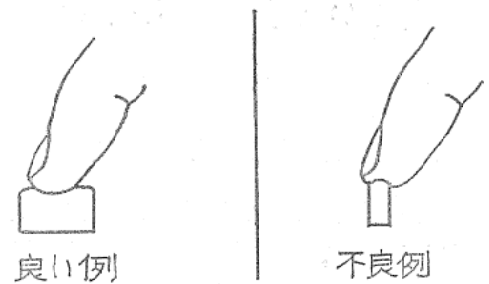


図23 押しボタンスイッチ

作業員が制御用パネルの前に立った姿勢で制御をする時には、その活動範囲(守備範囲)は横130~135cm位で、高さはベルト上90~1000で(図24)で、椅子に腰を下して監視を行える範囲は、立位の場合の0.8倍になる。この場合腕の長さからすれば横幅は150cm位迄制御可

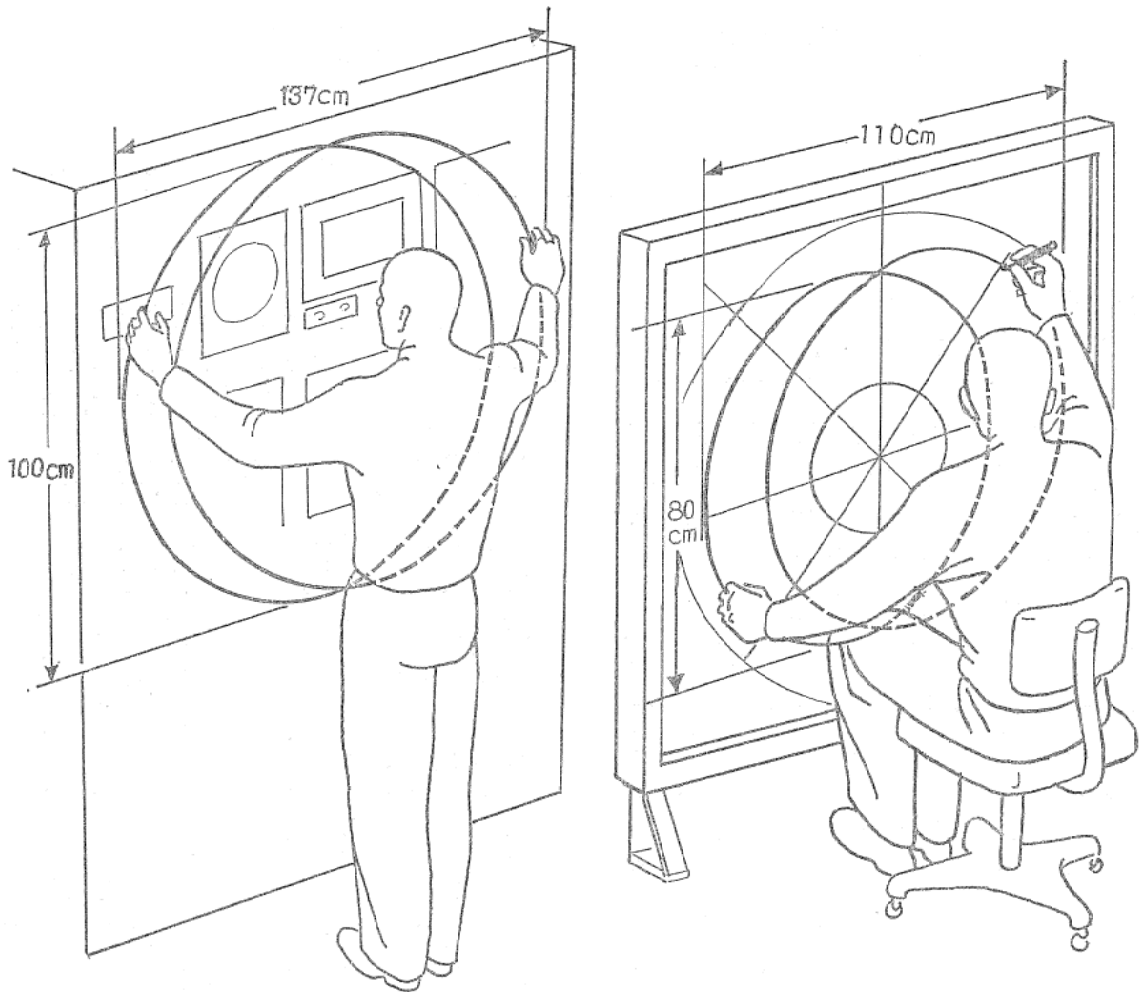


図24 制御用パネルの大きさ

能かと思われるが、130 mm 以上に横幅を採ると自然に体を曲げて操作するようになる。そして両手を同時に使う場合も考えられるので、制御を迅速正確に行う為に作業員が身体を曲げることを期待して設計することは作業員の疲労を増加することになるので慎むべきことである。

### 結 言

人類の福祉向上の為の生産活動を順調に維持する為には安全を無視するわけにはいかない。そして事故の発生を未然に防ぐ為にはあらゆる努力を傾注する必要がある。事故の発生を防止し、安全を確保するには生産設備の企画、設計の段階から安全工学の知識を縦横に駆使していかなばならない。この一環として工業装置の計器設計の段階に於ける安全を目標とした人間工学的な見方からの考察を菲才を顧みず、記した

次第である。内容についても、或は基本的な考へ方についても、大方諸賢の御批判を得ることができれば望外の喜びである。尚本稿の投稿を許可された当社首脳部の方々、就中、専務取締役武藤孝之介氏、常務取締役中條弘毅氏に深甚の謝意を表すると共に執筆に当って御協力を賜った生産供給部の各位に厚く御礼申し上げる次第である。

### 参 考 資 料

- C. Kubokawa (NASA): Databook for Human Factors Engineers (1969)
- 大島正光：人間工学（昭45）
- W. E. Woodson: Human Engineering Guide for Equipment Designers (1954)
- 小木和孝訳：人間工学の指針（昭42）
- 塩見 弘：故障物理学入門